

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360394

研究課題名(和文) 多変量解析による成分分離ラジオグラフィを利用したX線コンピュータ断層撮影法の研究

研究課題名(英文) Study on x-ray computed tomography with ingredient decomposing radiography by multi-variate analysis

研究代表者

神野 郁夫 (Kanno, Ikuo)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：50234167

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：直径3cmの亚克力に直径5mmのヨウ素領域と直径2mmのアルミニウム棒を含むファントムを用いた。transXend検出器には、10x10x1mmのSi(Li)要素検出器を6式用いた。測定電流値の比を用いて、亚克力-ヨウ素、亚克力-アルミニウムの厚さ増加方向に関する二次元地図を作製した。ステップ0.4mmで、ファントムを0度方向、90度方向からスキャンした。各スキャン点における亚克力、ヨウ素、アルミニウム厚さを評価し、物質厚さ分布を得た。これを用いて、ML-EM法により、画像再構成を行った。本手法により、少数回の透過撮影で断層画像が得られた。

研究成果の概要(英文)：An acrylic phantom had a diameter of 3 cm. A 5 mm diameter iodine region and a 2 mm diameter aluminum rod were in the phantom. Employed transXend detector consisted of six Si(Li) segment detectors with the dimensions of 10x10x1 mm. Two dimensional maps were obtained for acrylic-iodine thicknesses, and acrylic-aluminum thicknesses with x and y axes as ratios of measured electric currents by the segment detectors. The acrylic phantom was scanned from 0 and 90 degrees with the scan step of 0.4 mm. The thicknesses of acrylic, iodine and aluminum at each scan point were estimated, and the thickness distributions of materials were obtained. With these thickness distributions, tomographies were reconstructed by ML-EM method. With our method, tomographies were obtained by a small number of transmission measurements.

研究分野：放射線物理学

キーワード：X線 コンピュータ断層撮影 被曝 透過測定

1. 研究開始当初の背景

X線コンピュータ断層撮影(CT)において、X線のエネルギー情報を利用する研究が国内外で行われている。エネルギー情報を用いれば、ヨウ素造影剤とバリウム造影剤の同時撮影、新しいバイオマーカーの検出などが可能となる。しかし現状のCT装置においては、短時間測定という制限からX線は電流として測定されており、X線のエネルギー情報は使われていない。この理由は、通常のX線検出器でエネルギーを測定する場合、検出器母材内部にX線により生成された励起子(半導体では電子・正孔、シンチレータでは蛍光)が収集されるまでにある程度の時間を要するためである。この電荷収集時間以内に次のX線が検出器にエネルギーを付与した場合、ふたつのX線の区別がつかず、エネルギー測定ができない。この状況を打開すべく、高計数率X線検出器の開発が行われているが、いまだ不十分である。例えば最も先進的な検出器Medipix-3は、1秒間に100万個のX線測定が可能としているが、測定可能エネルギーは30keV以下(一般のCTでは150keVまで使用)の8範囲であり、また全面積は14mm×14mmと小さい。一方、従来のCT装置でエネルギー情報を利用するためには、X線管電圧を例えば70kVpと140kVpとに変えて、それぞれの管電圧でCT測定する方法がある。しかし、この場合、患者は2回の被曝を受けることとなる。

2. 研究の目的

申請者は、X線のエネルギー情報を利用したCT法を研究してきた。これは複数の検出器で測定した電流値と応答関数を用いて解析することにより、X線エネルギー分布を求める方法であり、癌を観察し易くするヨウ素造影剤のCT値が通常の電流測定法の約2倍となる。本研究では、これを発展させ、1回の透過撮影でX線が通過した線上の軟組織厚さ・造影剤厚さを測定できる手法を開発する。角度を90度変え、2度測定すれば、造影剤の濃度が高い癌組織の位置・形状が決定できる。これにより、被曝量が大きく低減でき、原子力発電所事故による低線量被曝者の検診に役立つ。さらに、ヨウ素・骨・軟組織の識別、ヨウ素とバリウムなど複数種類の造影剤が混在した測定、肝臓中の鉄分濃度の測定への応用を図る。

3. 研究の方法

新規多変量解析CT法をこれまでのエネルギー分解CT法と比較するため、4行4列のSi(Li)アレイ検出器をX線の進行方向に並べ、transXend検出器とする。またこの知見を活かし、2年度目には8行8列Si(Li)アレイtransXend検出器を開発する。まず、ファントムのCT測定を行い、多変量解析CT法の解析法および結果の表現法を研究する。画像および被曝量に関し、二つの測定法の比較を行

う。一定の画質を得るために必要なX線量の比較を行う。多変量解析CT法の高度利用では、1行1列Si(Li)transXend検出器を用いる。ヨウ素とバリウムなど複数種類の造影剤の弁別、また軟組織と骨の識別には、Si(Li)要素検出器数を3個から4個に増加することを検討する。さらに、画質、被曝量などを加味して検討する。

4. 研究成果

まず、2方向からの透過撮影を行い、その結果を多変量解析することで物質分布の画像化を目指した。用いたファントムは直径3cmの亚克力で、その中に直径5mmのヨウ素領域と直径2mmのアルミニウム棒を含む。ヨウ素の実効厚さはX線通過距離5mmに対し、15μmである。transXend検出器は、要素検出器として10×10×1mmのSi(Li)検出器を6式用いた。3番目と4番目の要素検出器の前に厚さ58μmおよび75μmの錫箔、ガドリニウム箔を設置した。得られた測定電流値の比を用いて、亚克力-ヨウ素、亚克力-アルミニウムの厚さ増加方向に関する2次元地図を作製した。これらが従来の応答関数に相当する。その後、ステップ0.4mmで、円

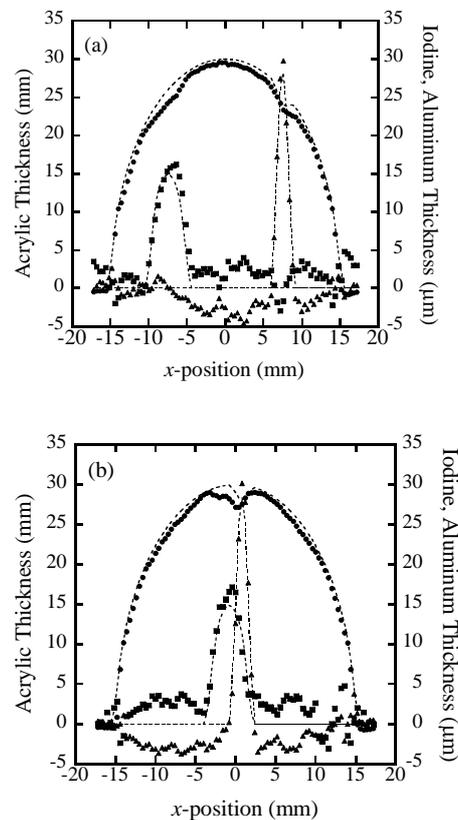


図1. (a)0度方向,(b)90度方向から評価した亚克力,ヨウ素,アルミニウム厚さ分布.(b)では実際のファントム方向は90度から少しずれている.アルミニウム1mmをヨウ素15μmと規格化した.実線は,理論的厚さ分布.

柱アクリルファントムを0度方向,90度方向からスキャンした。各スキャン点におけるアクリル,ヨウ素,アルミニウム厚さを評価し,物質厚さ分布を得た。同じデータを用い,各スキャン点について,従来の transXend 検出器の解析法に従い,4つのエネルギー領域に分けた X 線イベント数を得た。X 線イベント数の比に対する,アクリル-ヨウ素およびアクリル-アルミニウムの厚さ増加方向に関する2次元地図を求め,これから各スキャン点の物質厚さ分布も求めた。結果を図1に示す。

次に,求めた物質厚さ分布を用いて,Maximum Likelihood-Expectation Maximization (ML-EM)法により,画像再構成を行った。通常の CT による画像再構成では,2方向の透過撮影のみでは,不明な画像となるが,本手法による厚さ分布を用いることで,少数回の透過撮影で断層画像が得られた。画像を図2に示す。

すなわち,1回の透過撮影で癌組織の有無が判明し,2方向から透過撮影することで,癌組織の位置,形状を画像化できる。

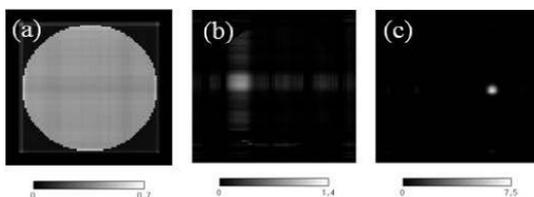


図2 ML-EM 法で再構成した(a)アクリル,(b)ヨウ素,(c)アルミニウムの断層画像。

しかし,透過撮影回数が少ないと,画像が粗く,例えば癌の形状が明瞭ではなく,正常組織と区別がつかない場合もあると想定できる。そこで,5度ごと36方向から透過撮影を行い,撮影回数と画質の関係を求め,最適透過撮影回数を求める作業を現在行っている。

肝臓中の鉄分が多いと肝臓癌など肝疾患の原因となる。肝臓には脂肪があるため,従来の CT では正確な鉄濃度の測定ができない。そこで transXend 検出器を用いたエネルギー分解 CT 測定を行った。設定した2つのエネルギー範囲の線減弱係数を x 軸, y 軸にとることで,軟組織,脂肪,鉄それぞれが 100%の点で構成する3角形ができる。これらの混合物を CT 測定することにより,3つの物質が分解できることを示した。

これらはそれぞれ査読付き論文として発表した。さらに,高いエネルギーに K 吸収端を持つ金造影剤を用いることで,従来のヨウ素造影剤を用いた場合の 1/10 の被曝量で CT 測定ができることを示した。

##### 5. 主な発表論文等

(研究代表者,研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 7 件)

(1) I. Kanno, Y. Yamashita, M. Kimura, F. Inoue, "Effective Atomic Number Measurement with Energy-resolved X-ray Computed Tomography", Nucl. Instrum. Method A, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2014.11.072>. 査読有。

(2) Y. Yamashita, M. Kimura, M. Kitahara, T. Hamaguchi, I. Kanno, M. Ohtaka, M. Hashimoto, K. Ara, H. Onabe, "Measurement of Effective Atomic Numbers using Energy-resolved Computed Tomography", J. Nucl. Sci. Technol., 51 (2014) 1256-1263. 査読有。

(3) I. Kanno, R. Imamura, Y. Yamashita, M. Ohtaka, M. Hashimoto, K. Ara and H. Onabe, "Using Energy-resolved X-ray Computed Tomography with a Current Mode Detector to Distinguish Materials", Jpn. J. Appl. Phys., 53, 056601 (2014). 査読有。

(4) Y. Yamashita, K. Shima, I. Kanno, M. Ohtaka, M. Hashimoto, K. Ara, H. Onabe, "Low-dose Exposure Energy-Resolved X-ray Computed Tomography using a Contrast Agent with a High-energy K-edge", J. Nucl. Sci. Technol., 51 (2014) 91-97. 査読有。

(5) I. Kanno, K. Shima, H. Shimazaki, Y. Yamashita, K. Watanabe, M. Ohtaka, M. Hashimoto, K. Ara and H. Onabe, "Computed Tomography Reconstruction from Two Transmission Measurements for Iodine-marked Cancer Detection", J. Nucl. Sci. Technol., 50 (2013) 1020-1033. 査読有。

(6) Y. Yamashita, H. Shimazaki, K. Shima, I. Kanno, M. Ohtaka, M. Hashimoto, K. Ara and H. Onabe, "Energy-resolved Computed Tomography Measurements of Iron Solution and Adipose as a Simulation for Estimating the Iron Concentration in the Human Liver", J. Nucl. Sci. Technol., 50 (2013) 376-380. 査読有。

(7) I. Kanno, H. Shimazaki, R. Imamura, Y. Yamashita, K. Shima, M. Ohtaka, M. Hashimoto, K. Ara and H. Onabe, "Low Dose Exposure Diagnosis with a transXend Detector Aiming for Iodine-marked Cancer Detection", J. Nucl. Sci. Technol., 49 (2012) 937-946. 査読有。

〔学会発表〕(計 17 件)

(1) 神野郁夫, 井上福太郎, 他, 「エネルギー分解 X 線コンピュータ断層撮影法を用いた種々の物質の実効原子番号測定」, 日本原子力学会, 2015年3月21日, 茨城大学。

(2) 船引綾乃, 神野郁夫, 他, 「健康診断における癌のスクリーニングを目的とした低被ばく X 線コンピュータ断層撮影法の開発」, 応用物理学会, 2015年3月12日, 東海大学。

(3) 叶井絵梨, 神野郁夫, 他, 「第三世代コンピュータ断層撮影に対応する電流測定・エネルギー分解 X 線検出器の開発」, 応用物理学会, 2015年3月12日, 東海大学。

(4) 伊良皆拓, 神野郁夫, 他, 「エネルギー分解 X 線コンピュータ断層撮影法における造影剤低減の可能性」, 応用物理学会, 2015年

3月12日, 東海大学.

(5) 伊良皆拓, 神野郁夫, 他, 「フラットパネル検出器を搭載した汎用 CT 装置による実効原子番号測定」, 応用物理学会, 2014年9月17日, 北海道大学.

(6) L. Kanno, “Current-mode transXend Detector for Energy Resolved CT and its Applications”, 7th Korea-Japan Joint Meeting of Medical Physics, 2014年9月27日, プサン.

(7) L. Kanno, “Effective Atomic Number Measurement with Energy-resolved X-ray Computed Tomography”, New Developments in Photo Detectors, 2014年7月1日, ツール.

(8) 神野郁夫, 「電流モード検出器 transXend を用いたエネルギー分解コンピュータ断層撮影法」, 日本学術振興会第186委員会, 2013年11月6日, 放射線医学総合研究所.

(9) Y. Yamashita, L. Kanno, et al., “Measurement of Atomic Numbers Using Energy-resolved Computed Tomography”, IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 2013年10月30日, ソウル.

(10) L. Kanno, K. Shima, et al., “Computed Tomography of Acrylic Phantom with Iodine and Aluminum Resoctructed by Two Transmission Measurements”, IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 2013年10月30日, ソウル.

(11) 山下良樹, 神野郁夫, 他, 「エネルギー分解 CT による実効原子番号測定」, 日本原子力学会, 2013年9月4日, 八戸工業大学.

(12) 神野郁夫, 島一成, 他, 「X線エネルギー分布を用いた物質厚さ分布測定と断層画像の再構成」, 日本原子力学会, 2013年9月4日, 八戸工業大学.

(13) 北原理, 神野郁夫, 他, 「多種シンチレータ平面 transXend 検出器を用いた物質厚さ推定の可能性」, 応用物理学会, 2013年9月16日, 同志社大学.

(14) 山下良樹, 神野郁夫, 他, 「高エネルギーK吸収端造影剤とエネルギー分解による低被曝化 CT 法」, 応用物理学会, 2013年9月16日, 同志社大学.

(15) 山下良樹, 神野郁夫, 他, 「エネルギー分解 CT による実効原子番号測定」, 応用物理学会, 2013年9月16日, 同志社大学.

(16) 神野郁夫, 「transXend 検出器の開発と低被曝 CT への応用」, 日本医学物理学会, 2013年4月13日, パシフィコ横浜.

(17) 神野郁夫, 島一成, 他, 「超低被曝量診断を目指した transXend 検出器出力の多変量解析による X 線画像化」, 日本原子力学会 2012年9月22日, 広島大学.

〔図書〕(計 1 件)

神野郁夫, 木村逸郎, 阪井英次 共訳, 「放射線計測ハンドブック 第4版」, オーム社, 2013年.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 2 件)

名称: 放射線検出器

発明者: 神野郁夫, 荒邦明

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2012-10923

出願年月日:

国内外の別: 国内

名称: 蛍光体スクリーンおよび放射線検出装置

発明者: 神野郁夫

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許願 2014-152170

出願年月日: 平成26年7月25日

国内外の別: 国内

○取得状況(計 2 件)

名称: X-ray CT Apparatus and Method Thereof

発明者: L. Kanno

権利者: 同上

種類: 特許

番号: US 8,180,016 B2

出願年月日: 2012年2月12日

取得年月日: 2012年5月15日

国内外の別: 国外

名称: X線 CT 装置および該方法

発明者: 神野郁夫

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 第5367574号

出願年月日:

取得年月日: 平成25年9月20日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.nucleng.kyoto-u.ac.jp/People/Kanno/kanno.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

京都大学・工学研究科・教授

神野郁夫 (KANNO, Ikuo)

研究者番号: 50234167

(2) 研究分担者

独立行政法人国立循環器病研究センター

・画像診断医学部・画像診断医学部長

飯田秀博 (IIDA, Hidehiro)

研究者番号: 30322720

(3) 連携研究者

名古屋大学・工学研究科・准教授

渡辺賢一 (WATANABE, Kenichi)

研究者番号: 30324461